
Aircraft terrain collision avoidance method and device

Verfahren und Vorrichtung zur Grundkollisionsvermeidung fur Flugzeuge

Procede et dispositif d'anti-collision terrain pour aeronef

Assignee:

DASSAULT ELECTRONIQUE, (447913), 55, quai Marcel Dassault, F-92214 Saint-Cloud, (FR), (applicant designated states:

AT;BE;CH;CY;DE;DK;ES;FI;FR;GB;GR;IE;IT;LI;LU;MC;NL;PT;SE)

Inventor:

Lepere, Gerard, 69, rue Hemet, 93300 Aubervilliers, (FR)

Meunier, Hugues, 3, rue d'Alsace-Lorraine, 78690 Les Essarts le Roi, (FR)

Legal Representative:

Placais, Jean-Yves (17891), Cabinet Netter, 40, rue Vignon, 75009 Paris, (FR)

Patent		
Country Code/Number	Kind	Date
EP 928952	A1	July 14, 1999 (Basic)

Application	
Country Code/Number	Date
EP 99400040	January 08, 1999

Priority Application Number (Country Code, Number, Date): FR 98207 (980112)

Designated States: AT; BE; CH; DE; DK; ES; FR; GR; IE; IT; LI; LU; MC; NL; PT; SE

International Patent Class: G01C-005/00; G05D-001/06

Abstract: EP 928952 A1 (Translated)

Aircraft navigation device for preventing aircraft collision within flight zone

Aircraft velocity vector data is acquired from radio altimeter and GPS instrumentation (2) and combined with three dimensional terrain data (3) in a calculation module (4). The calculation module generates auxiliary velocity vectors from the aircraft velocity vector according to a chosen angular sweeping law and uses them to generate an exploration surface whose intersection with the ground relief is reported (51, 53, 55)

Abstract: EP 928952 A1

Un dispositif d'aide a la navigation aerienne, embarque a bord d'un aeronef, recoit sur une entree des indications d'etat representant sa position spatiale et son vecteur vitesse, et stocke une representation 3D du relief survole. Il comprend des moyens de traitement qui definissent, en fonction des indications d'etat, un secteur d'exploration rapporte a l'avion, et calculent dans ce secteur un contour en fonction de l'intersection de ce secteur avec le relief, en vue de son affichage. Ledit secteur est defini par une nappe de lignes de trajectoire obtenues a partir du

vecteur vitesse et de vecteurs auxiliaires calcules par decalage du vecteur vitesse de l'aeronef selon une loi de balayage angulaire choisie.

Legal Status			
Type	Pub Date	Kind	Description
Assignee:	030312	A1	Transfer of rights to new applicant: THALES SYSTEMES AEROPORTES S.A. (2790342) 2 Avenue Gay Lussac 78990 Elancourt FR
Examination:	20000126	A1	Date of request for examination: 19991125
Application:	990714	A1	Published application (A1 with Search Report;A2 without Search Report)

Language (Publication, Procedural, Application): French; French; French

Specification:

L'invention concerne l'assistance a la navigation aerienne, notamment lorsque survient un risque de collision, entre un aeronef et la zone qu'il survole.

Comme decrit dans EP-A-0 565 399 et EP-A-0 802 469, ces assistances comprennent notamment des moyens de detection d'informations d'etat concernant l'aeronef, telles que ses positions spatiales relative (par rapport au terrain survole) et/ou absolue (par rapport a une altitude de reference, comme le niveau de la mer), ainsi que son vecteur vitesse et eventuellement son vecteur acceleration (informations que l'on appellera sans distinction, ci-apres, la dynamique de l'aeronef).

A bord d'un aeronef, la centrale inertielle couplee a un systeme dit "Global Positioning System" ou GPS, associe a un filtre de Kalman, peut fournir certaines de ces informations (respectivement les vitesse et acceleration, et les latitude et longitude). Les autres informations peuvent etre obtenues a l'aide de moyens de mesure dits "baro-inertiels" (altitude absolue) ou d'un radio-altimetre (altitude relative).

Mais les assistances comprennent egalement des dispositifs d'anti-collision destines a avertir le pilote qu'un risque de collision avec le sol (ou terrain survole) peut survenir. De tels dispositifs sont notamment utiles lors de l'approche prealable a l'atterrissage, ainsi qu'apres le decollage, du fait que l'aeronef se trouve necessairement pres du sol.

De tels dispositifs sont connus sous les noms de "Ground Proximity Warning Systems", en abrege GPWS, ou "Ground Collision Avoidance System", en abrege GCAS.

La Demanderesse a decrit dans le fascicule-brevet EP-A-0 565 399 et dans la Demande de Brevet francais n(degree)96 04678 (ainsi que dans le fascicule de la Demande EP-A-0 802 469 correspondante) des dispositifs d'aide a la navigation aerienne de type GCAS, comprenant :

- une entree permettant de recevoir des indications d'etat representatives de la position et au

moins du vecteur vitesse de l'aeronef,

- une memoire de travail permettant de stocker une representation tridimensionnelle du relief de la region survolee par l'aeronef,
- des moyens de traitement capables de definir, en fonction des indications d'etat, un secteur d'exploration rapporte a l'avion, et a calculer dans ce secteur un contour en fonction de l'intersection de ce secteur avec le relief, ainsi que
- des moyens permettant de visualiser le contour, notamment.

Ce type de dispositif d'aide peut egalement permettre au pilote de visualiser la trajectoire future estimee de l'aeronef et eventuellement les parametres d'une trajectoire standard reposant sur des manoeuvres d'evasive theoriques permettant d'eviter le relief.

On s'est interesse depuis a la generalisation de ces systemes, et a leur ergonomie. Il s'agit en effet d'equiper un maximum d'avions civils, et de fournir au pilote une information aussi claire et facile a interpreter que possible, car il peut se trouver dans une situation qui requiert son attention par ailleurs.

Dans une approche, il a ete propose de visualiser le relief sous la forme de courbes de niveau horizontales. La Demanderesse estime que cela est delicat a interpreter, notamment lorsque l'aeronef se deplace dans un plan non horizontal, et/ou a proximite des zones aeroportuaires et des regions accidentees.

Par ailleurs, dans certaines situations, le relief du terrain survole est particulierement accidente, et/ou l'aeronef presente des problemes techniques. La trajectoire d'evasive proposee peut s'avérer impossible a mettre en oeuvre du fait, par exemple, qu'elle intersecte le relief, et par consequent entrainer l'emission d'une alarme, alors que la trajectoire courante que suit l'aeronef ne risque pas d'intersecter le relief.

Pour les raisons evoquees ci-avant, ainsi que pour d'autres raisons qui seront evoquees plus loin, les dispositifs actuels ne sont donc pas entierement satisfaisants.

La presente invention a notamment pour but de proposer un dispositif de type GCAS qui soit affranchi de tout ou partie des inconvenients precites.

L'invention propose a cet effet un dispositif d'aide a la navigation aerienne du type decrit dans l'introduction, dans lequel les moyens de traitement sont agences, tout d'abord, pour calculer des vecteurs vitesse auxiliaires par decalage du vecteur vitesse (instantane) de l'aeronef selon une loi de balayage angulaire choisie, et ensuite, pour definir le secteur par une nappe de lignes de trajectoire partant du vecteur vitesse et des vecteurs vitesse auxiliaires.

On entend ici par vecteur vitesse auxiliaire, un vecteur dont deux des trois coordonnees dans un referentiel spherique rapporte a un centre de rotation representatif de la position de l'aeronef, a savoir le rayon r et l'angle par rapport a la verticale (θ), sont inchangees par rapport a celles du vecteur vitesse instantane, tandis que l'angle ϕ de sa projection dans le plan horizontal est differente de celle du vecteur vitesse. En d'autres termes, pour obtenir le balayage angulaire,

on fait varier l'angle ϕ ; de part et d'autre de la valeur qu'il possède au niveau du vecteur vitesse.

Ainsi, le pilote dispose d'un contour (ou carte), qui représente le relief dans la direction du vecteur vitesse de l'aéronef, et sur un secteur angulaire choisi. Le mot contour est à prendre au sens le plus large du terme, dans la mesure où il représente toutes les lignes d'intersection qui sont affichées simultanément et qui séparent chacune deux zones ou régions. Comme on le verra plus loin, il désigne donc, ici, aussi bien un contour de terrain (également appelé fond de carte ou fond d'image), qu'un contour d'alerte.

De préférence, le balayage angulaire est effectué sur une plage comprise entre 1(degré) et 360(degré), et plus préférentiellement encore entre 60(degré) et 120(degré).

Dans un mode de réalisation préférentiel, les lignes de trajectoire ont toutes la même géométrie. Elles pourront notamment être droites ou courbes. Elles pourront notamment être des répliques d'une trajectoire future estimée de l'aéronef, déduite de la trajectoire courante (elles sont alors dites "à commandes de pilotage inchangées").

Afin d'améliorer la précision du contour, les moyens de traitement peuvent être agencés de manière à définir plusieurs nappes de lignes de trajectoire ayant des décalages verticaux différents, de préférence espacés au départ de façon sensiblement régulière. Par exemple les nappes pourront être au moins partiellement sensiblement parallèles entre elles. Cela permet de "sonder" le relief sur des hauteurs (ou couches) importantes.

Mais, les lignes de trajectoires peuvent également être formées à partir de lignes (premières) de trajectoire d'évasive (ou d'évitement) estimées reposant sur des manœuvres (elles sont alors dites "à commandes de pilotage modifiées selon une première loi d'évasive choisie").

Il pourra par exemple s'agir de la trajectoire d'évasive connue de l'homme de l'art sous le nom de "caution", laquelle est obtenue par une première loi d'évasive comprenant une prolongation d'une représentation de la trajectoire courante établie en fonction d'un critère choisi, suivie d'une manœuvre ayant une composante verticale. Dans cette hypothèse, les moyens de traitement pourront être réalisés de façon à permettre, lorsque l'une au moins des premières trajectoires d'évasive estimées intersecte le relief, le calcul du contour en fonction du point de départ de chaque manœuvre en chaque première ligne de trajectoire d'évasive estimée de ladite nappe.

Le pilote dispose alors d'un contour que l'on peut qualifier de premier contour d'alerte (ou contour de pré-alarme) qui peut être éventuellement affiché en même temps qu'un contour obtenu à l'aide des trajectoires futures estimées, ou bien séparément de celui-ci. Un tel premier contour d'alerte fournit au pilote des informations sur la distance qui sépare son aéronef du relief dans la "direction" de la première trajectoire d'évasive proposée.

Les lignes de trajectoire pourront être également des secondes lignes de trajectoire d'évasive (ou d'évitement) estimées, à commandes de pilotage modifiées selon une seconde loi d'évasive choisie, partant du vecteur vitesse et des vecteurs auxiliaires. Il pourra par exemple s'agir de la trajectoire d'évasive connue de l'homme de l'art sous le nom de "warning", laquelle est obtenue

par une seconde loi d'evasive comprenant une prolongation d'une representation de la trajectoire courante etablie en fonction d'un critere choisi, suivie d'une manoeuvre ayant une composante verticale. Dans cette hypothese, les moyens de traitement pourront etre realises de facon a permettre, lorsque l'une au moins des secondes trajectoires d'evasive estimees intersecte le relief, le calcul du contour en fonction du point de depart de chaque manoeuvre en chaque seconde ligne de trajectoire d'evasive estimee de ladite nappe.

Le pilote dispose alors d'un contour que l'on peut qualifier de second contour d'alerte (ou contour d'alarme) qui peut etre eventuellement affiche en meme temps que le premier contour d'alerte et que le contour obtenu a l'aide des trajectoires futures estimees, ou bien separement de l'un ou l'autre de ceux-ci. Un tel second contour d'alerte fournit au pilote des informations sur la distance qui separe son aeronef du relief dans la "direction" de la seconde trajectoire d'evasive proposee.

Preferentiellement chaque intersection entre le relief et une nappe de trajectoires d'evasive est limitee a une partie amont, chaque contour etant alors constitue de cette partie amont et d'une prolongation vers l'aval determinee selon une regle choisie, par exemple une prolongation lineaire.

On entend ici par partie amont, la zone ou region qui se trouve placee entre une portion de contour et l'aeronef, et partie aval celle qui se trouve placee au dela de cette portion de contour.

Selon une autre caracteristique de l'invention, les moyens de traitement comprennent des moyens de differenciation capables d'attribuer des marquages differents aux zones qui sont situees de part et d'autre de chaque partie du contour, ces marquages etant choisis en fonction d'un critere predetermine portant sur un risque de collision entre l'aeronef et le relief.

Par exemple, le critere predetermine pourra etre une loi portant sur la distance separant chaque point du contour du point representatif du relief situe a la verticale du point de contour, les marquages differents correspondant alors a des intervalles de distance differents, predetermines et representatifs de risques de collision associes.

Preferentiellement, chaque marquage consiste en une colorisation dont les differentes couleurs sont choisies parmi une famille de normes comprenant au moins la norme europeenne JAR 25-1322 et la norme americaine FAR 25-1322, la couleur la plus froide correspondant au risque de collision le plus petit. On pourra par exemple choisir comme couleurs, par ordre de risque de collision decroissant : le rouge, l'orange, le jaune, le vert et le bleu.

Bien entendu, on pourra choisir comme marquages des degradés de gris allant du blanc au noir, ou bien des hachures (ou trames) de varietes differentes.

Selon encore une autre caracteristique de l'invention, les moyens de traitement sont agencés pour commander l'affichage en alternance du contour et d'une carte meteorologique. Bien entendu, on peut prevoir que l'affichage du contour et d'une carte meteorologique soit simultane. On peut egalement prevoir que des informations complementaires, notamment de type localisation d'aerports soient affichees simultanement avec le contour.

Selon encore une autre caractéristique de l'invention, les moyens de traitement sont agencés pour déclencher une pré-alarme sonore ou visuelle choisie en cas d'intersection entre une nappe formée de premières lignes de trajectoire d'évasive. On peut également prévoir qu'une alarme sonore et/ou visuelle soit déclenchée en cas d'intersection entre une nappe formée de secondes lignes de trajectoire d'évasive. Bien entendu, on peut ne prévoir que l'une ou l'autre des alarme et pré-alarme, ou bien les deux. Celles-ci pourront par exemple déclencher automatiquement l'affichage du contour.

Selon encore une autre caractéristique de l'invention, on peut prévoir une procédure "d'évitement de terrain" comprenant au moins une composante horizontale. Pour ce faire, les moyens de traitement pourront être agencés de façon à émettre une autre alarme, visuelle et/ou sonore, lorsque l'intersection, vérifie un critère choisi, entre, d'une part, le relief et l'une au moins des première et seconde trajectoire d'évasive, et d'autre part, le relief et au moins la trajectoire future estimée.

Ce critère choisi pourra, par exemple, porter au moins sur la distance verticale qui sépare la représentation de l'intersection entre le relief et la trajectoire d'évasive et le sommet du relief sensiblement au droit de l'intersection entre ce relief et la trajectoire d'évasive concernée.

De préférence, les moyens de traitement sont capables de définir un domaine englobant chaque ligne de trajectoire constituant une nappe, en fonction des indications d'état et du relief, ainsi que de déterminer l'intersection entre chaque nappe et le relief à partir des intersections des domaines de chacune de ses lignes de trajectoire avec ledit relief. De telles lignes de trajectoire sont alors appelées "palpeur". Elles permettent de tenir compte des incertitudes de mesures sur la position et la dynamique de l'aéronef.

Dans ce cas, le point d'intersection d'une ligne de trajectoire contribuant à la formation du contour est obtenu, de préférence, en prenant le point d'intersection, parmi tous les points d'intersection entre le domaine de cette ligne de trajectoire et le relief, qui possède l'altitude la plus élevée.

Selon encore une autre caractéristique de l'invention, l'entrée du dispositif peut recevoir des indications d'état, et notamment une altitude réelle et une altitude relative référencée par rapport au terrain survolé, et les moyens de traitement sont agencés pour déterminer les trajectoires (futures) estimées et d'évasive (ou d'évitement) à partir d'une altitude choisie parmi les altitudes réelle et relative et une altitude composite en fonction d'une comparaison à deux seuils d'altitude prédéterminés, ladite altitude choisie étant :

- soit l'altitude réelle lorsque ladite altitude réelle est inférieure aux deux seuils,
- soit l'altitude relative lorsque ladite altitude réelle est supérieure aux deux seuils,
- soit l'altitude composite lorsque ladite altitude réelle est comprise entre les deux seuils, celle-ci étant formée de préférence à partir d'une combinaison pondérée des altitudes relative et réelle.

Cela permet de renforcer la fiabilité des résultats (contour).

Dans un mode de réalisation préférentiel de l'invention, le dispositif comprend une mémoire de masse pour permettre de stocker une base de données représentant au moins une partie du globe

terrestre, ainsi que des moyens de gestion capables d'extraire de cette base de données les représentations tridimensionnelles du relief (également appelées cartes locales temporaires) en fonction des paramètres de position de l'aéronef, pour les placer au fur et à mesure du déplacement de l'aéronef dans la mémoire de travail. Cela permet de rendre autonome le dispositif.

L'invention propose également un procédé d'aide à la navigation aérienne d'un aéronef, comportant les étapes connues suivantes :

- a) recevoir dans l'aéronef des indications d'état représentant sa position et son vecteur vitesse,
- b) stocker dans une mémoire de travail une représentation tridimensionnelle du relief de la région survolée par l'aéronef,
- c) définir, en fonction desdites indications d'état, un secteur d'exploration rapporté à l'aéronef, et calculer dans ce secteur un contour en fonction de l'intersection de ce secteur avec le relief, et
- d) visualiser ledit contour, le procédé étant remarquable du fait que son étape c) comporte les sous-étapes suivantes :
 - c1) calculer des vecteurs vitesse auxiliaires par décalage du vecteur vitesse de l'aéronef selon une loi de balayage angulaire choisie, et
 - c2) définir ledit secteur par une nappe de lignes de trajectoire partant du vecteur vitesse et des vecteurs vitesse auxiliaires.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexes, sur lesquels :

- la figure 1 est un schéma de principe très général d'un dispositif d'aide à la navigation aérienne, de type GCAS, tel que ceux décrits dans EP-A-0 565 399 et FR-96 04678;
- la figure 2 est un schéma détaillé d'un exemple de réalisation d'un dispositif selon l'invention;
- la figure 3 illustre un domaine d'incertitude sur la position d'un aéronef;
- la figure 4 illustre l'incertitude liée à la trajectoire estimée d'un aéronef, projetée dans le plan horizontal;
- la figure 5 est une vue en coupe verticale illustrant sur une situation les bases d'un premier mode de réalisation de l'invention, la position d'un avion vis-à-vis du relief matérialisé, à un instant donné, ainsi que les trois droites directrices représentatives respectivement d'une trajectoire d'évitement et de trajectoires estimées parallèles;
- la figure 6 illustre la carte de risque de collision formée à partir d'une multiplicité de coupes du type de celle de la figure 5, et correspondant à un cycle de balayage;
- les figures 7A et 7B illustrent sur deux situations les bases d'un second mode de réalisation de l'invention;
- les figures 8A à 8D illustrent différentes visualisations que l'on peut obtenir selon ce second mode de réalisation de l'invention;
- la figure 9 illustre schématiquement une ligne de trajectoire courbe projetée dans un plan;
- la figure 10 illustre la manière d'engendrer les visualisations des figures 8; et

- la figure 11 illustre tres schematiquement differents volumes devant un aeronef, et notamment dans un cas particulier ou une fausse alarme peut survenir si le traitement n'est pas inhibe.

Les dessins annexes sont pour- l'essentiel de caractere certain. En consequence, ils pourront non seulement permettre de mieux faire comprendre la description detaillee qui suit, mais aussi contribuer a la definition de l'invention, le cas echeant.

En outre, et compte tenu de la technicite de la matiere, les contenus descriptifs de EP-A-0 565 399 et EP-A-0 802 469 (issu de FR-96 04678) sont a considerer comme integralement incorpores a la presente description. Il en est de meme pour le document suivant:

- Note de DASSAULT ELECTRONIQUE n(degree)810-196 AN, diffusee publiquement en octobre 1997, intitulee "A New Approach to CFIT Prevention and to improve situational awareness : GCAS GROUND COLLISION AVOIDANCE SYSTEM".

Les messages standard utilises en aviation civile sont exprimes en anglais. Parmi ceux-ci, on mentionnera les termes suivants, qui qualifient le risque de collision avec le sol:

- "advisory", ou avis, qui correspond a une indication ou bien un conseil,
- "caution", que l'on appelle ici pre-alarme, et qui presente un caractere d'avertissement,
- "warning", que l'on appelle ici alarme, et qui presente un caractere d'urgence.

Separement ou ensemble, ces differents niveaux de message sont appeles des "alertes". Pour allger la description, on ne parlera pas des avis, ou alertes "advisory", qui peuvent etre consideres par exemple comme une version anticipee des pre-alarmes.

On utilisera aussi des unites qui n'appartiennent pas au systeme MKSA, bien qu'elles en soient derivees, dans la mesure ou elles s'imposent en aeronautique civile.

On se refere tout d'abord aux figures 1 et 2 pour decrire un premier exemple de realisation, non limitatif, d'un dispositif d'aide a la navigation aerienne selon l'invention.

Le dispositif decrit dans EP-A-0 565 399 est essentiellement destine a etre installe a bord d'un aeronef, et notamment un avion. Celui-ci comporte des equipements 2 capables de fournir sous forme de signaux electriques des indications de parametres de vol (position et dynamique, notamment), tels qu'une centrale inertielle ou baro-inertielle 20 ou INU, et/ou un instrument de radionavigation, ici un recepteur GPS 21 (mais il pourrait s'agir d'une IRS), avec son antenne, un radio-altimetre 22, avec son antenne, ou d'autres senseurs embarques de navigation.

La centrale inertielle 20 fournit les composantes des vecteurs vitesse (V) et acceleration (GAMMA) de l'aeronef. On peut en deduire tout ou partie des angles caracteristiques associes (incidence, derapage, pente, tangage, cap, gite, notamment), ou recueillir directement les valeurs de ces angles utilisees en interne par la centrale inertielle. Ces valeurs angulaires peuvent etre affichees et/ou utilisees au niveau du poste de commande. Pour l'altitude, la centrale inertielle coopere avec un altimetre barometrique (non represente), de maniere connue.

On definira les notations ci-apres :

- Zb est l'altitude barometrique donnee par la mesure de la pression atmospherique, et varie selon

l'altitude et les conditions meteorologiques,

- Z_i est l'altitude inertielle calculee par la double integration de l'acceleration verticale mesuree par les accelerometres de la centrale a inertie (variations a long terme),
- Z_{bi} est l'altitude baro-inertielle, c'est-a-dire Z_b filtre par Z_i (boucle du 3eme ordre, par exemple),
- Z_c sera l'altitude calculee ($HRS + Z_{ta}$), ou HRS est la hauteur radio-sonde (ou altitude relative) donnee par le ou les radio-altimetres de l'aeronef (precision de quelques metres), et Z_{ta} sera l'altitude du terrain sous l'aeronef donnee par le fichier terrain (defini plus loin), et
- Z_{gps} est l'altitude fournie par le GPS, par exemple.

Le recepteur GPS 21 fournit des mesures brutes de latitude L_1 , longitude G_1 , et altitude Z_1 ($=Z_{gps}$), rafraichies a une cadence p_1 de quelques secondes a quelques minutes. Par integration sur les vecteurs vitesse et acceleration, la centrale inertielle 20 fournit d'autres mesures de latitude L_0 , longitude G_0 , et altitude Z_0 ($=Z_{bi}$), precises mais derivant dans le temps. Un bloc 25 compare les deux types de mesure, et valide les grandeurs L_1, G_1, Z_1 , si elles sont coherentes avec L_0, G_0, Z_0 . De telles techniques de validation sont connues. Les mesures L_2, G_2, Z_2 validees sont disponibles a la cadence p_1 . Mais elles sont affinees a partir de la centrale inertielle a une cadence p_2 d'environ une seconde.

Un bloc 28 extrapole les informations entre le dernier instant de mesure par l'instrument 21 et l'instant actuel (ou courant) (cette extrapolation est utile notamment en cas de probleme de cadence de fourniture des informations, qui peut etre trop faible). Le radio-altimetre 22 delivre la hauteur au dessus du sol, notee HRS .

Un bloc 3 contient un fichier terrain, etabli d'une facon que l'on decrira ci-apres. En fonction des grandeurs L et G , on accede a une partie de ce fichier, dite carte locale, laquelle est une representation tridimensionnelle du relief de la region survolee par l'aeronef, et stockee dans une memoire locale 40.

A partir de cette carte locale, et des grandeurs L, G, Z ainsi que HRS , le bloc 4 effectue des calculs d'anti-collision, de preference accompagnees de calculs d'evitement de terrain.

En presence d'un risque de collision, une alarme (51) est emise. Un directeur d'ordres 53 peut suggerer une manoeuvre d'evitement. Ceci est a destination du poste de commande (ou de pilotage). La carte locale peut etre egalement utilisee pour la generation d'une image synthetique 60, avec son dispositif de visualisation 55.

Tout cela est decrit dans EP-A-0 565 399 et EP-A-0 802 469, qui indiquent egalement comment rapprocher et verifier mutuellement les differentes informations disponibles, notamment en vertical.

L'une des bases essentielles de EP-A-0 565 399 est le fait que la Demanderesse a percu la possibilite de stocker a bord d'un aeronef un fichier de terrain susceptible de représenter la quasi-totalite du bloc terrestre, dans la limite de contour et de resolution qui convient pour les besoins d'un aeronef.

L'analyse de la situation instantanée et prédite de l'aéronef peut alors se résumer à un ensemble de tests de courbes, propre à générer en principe deux types d'alarmes au moins:

- une pré-alarme indiquant une configuration dangereuse à moyen terme, et
- une alarme indiquant une configuration nécessitant une action immédiate du pilote, car la sécurité du vol est mise en cause.

A cet effet, on prévoit deux surfaces (des courbes dans l'espace) de protection de l'aéronef vis-à-vis du terrain, définies suivant le même principe mais avec des paramètres différents, et comprenant :

- une surface à court terme CCT, principalement destinée à éviter un accident. Dès qu'un point du terrain entre dans la surface ou l'enveloppe supérieure de la surface CCT, le pilote doit intervenir (alarme) en effectuant une manœuvre d'évitement;
- une surface à moyen terme CMT, principalement destinée à prévenir le pilote que la trajectoire de son aéronef va rencontrer un obstacle si elle se poursuit telle quelle, et qu'il doit envisager une manœuvre d'évitement (préalarme).

Ces surfaces, qui constituent un élément important du système de protection, peuvent être élaborées à partir de nombreux paramètres statiques et dynamiques de l'aéronef, en particulier :

- la fonction de transfert de pilotage de l'aéronef, c'est-à-dire sa capacité à manœuvrer,
- les retards TR_0) dus au temps de réaction du pilote de l'aéronef,
- la vitesse horizontale V_h) de l'aéronef,
- la vitesse ascensionnelle V_z) de l'aéronef,
- le facteur de charge admissible n.g,
- la hauteur de sécurité prévue, et
- le roulis de l'aéronef.

Pour la suite de la description, quelques définitions sont nécessaires:

- on appelle "axe instantané" de la trajectoire de l'aéronef, de manière prédéfinie, soit la tangente à la trajectoire instantanée (direction du vecteur vitesse instantané), soit l'axe de la trajectoire passée et prédite (si l'aéronef est en virage, "l'axe" est alors courbe), soit encore un axe (en principe intermédiaire) défini, par exemple, par une combinaison linéaire pondérée entre les deux précédents;
- on appelle "plan vertical" une surface (non nécessairement plane) qui contient la verticale passant par l'aéronef et un axe instantané de la trajectoire de l'aéronef ; s'agissant de l'axe de la trajectoire passée et prédite, le "plan vertical" est une surface courbe si l'aéronef est en virage ; on qualifie de "verticales" les manœuvres dont la composante principale est dans un plan vertical ;
- on appelle "plan horizontal" le plan horizontal passant par un point de référence de l'aéronef (centre de gravité par exemple) et on qualifie comme "horizontales" ou "latérales" les manœuvres dont la composante principale est dans un plan horizontal ; la aussi, le "plan" horizontal pourrait être une surface courbe dans l'espace, définie d'après la trajectoire de l'aéronef ;
- on distingue, parmi les manœuvres horizontales, celles qui vont à gauche et celles qui vont à droite de la trajectoire prédite de l'aéronef ;
- enfin les mots "vertical", ainsi que "horizontal" ou "lateral" seront également utilisés pour qualifier notamment les obstacles et les risques qui peuvent être rencontrés lors des manœuvres.

La courbe limite d'évitement (ou d'évasive) dans le plan vertical peut être définie par trois tronçons:

- de T_0) à T_1)), la poursuite de la trajectoire telle quelle (sans manoeuvre) pendant un temps égal au retard RT_0) = T_1) - T_0) (correspondant à un temps de réaction),
- de T_1) à T_2)), une période de transition due à une éventuelle diminution du roulis et au changement du rayon de courbure de la trajectoire passant de l'infini au rayon RT)) ascensionnel,
- de T_2) à T_3)), la trajectoire d'évitement proprement dite, dont le rayon de courbure RT)) est directement fonction du carré de la vitesse linéaire de l'aéronef, divisé par le facteur de charge réellement appliqué, soit

Ce qui précède a, pour l'essentiel, été indiqué sur la figure 6 de EP-A-0 565 399. Aujourd'hui, il est estimé souhaitable d'ajouter à la courbe limite un quatrième tronçon :

- au-delà de T_3 , une ligne droite de pente liée aux caractéristiques (performances) de l'aéronef.

En pratique, la "courbe limite d'évitement" est une surface dans l'espace, que l'on appelle "palpeur". Pour un traitement numérique, cette surface est échantillonnée en une famille de segments curvilignes : voir notamment le texte et les figures 8A et 8B de EP-A-0 802 469, pour de plus amples informations. Ainsi :

- est définie d'abord une trajectoire correspondant à une manoeuvre standard d'évitement dans le plan vertical SVRM ("Standard Vertical Recovery Manoeuvre");
- en prenant l'axe instantané de la trajectoire de l'aéronef et/ou selon l'orientation de la trajectoire prédite (ou leurs combinaisons linéaires), on peut faire glisser sur cet axe la SVRM, jusqu'au point où elle rencontre l'enveloppe du terrain;
- on peut alors définir un temps ou point de référence vertical VRP ("Vertical Reference point"), qui est le début de la SVRM;
- en amont de ce point VRP sur la trajectoire prédite, on définit deux temps VT_5 et VT_{20} , avec par exemple $VT_5 = VRP - 5$ secondes, et $VT_{20} = VRP - 20$ secondes;
- une préalarme et une alarme "verticales" sont alors définies, respectivement dès que l'aéronef passe le point VT_{20} , et dès qu'il passe le point VT_5 (l'alarme "écrase" naturellement la préalarme).

Les moyens techniques qui viennent d'être définis donnent satisfaction dans la majeure partie des situations rencontrées en pratique.

En bref, ils permettent de fournir au(x) pilote(s) de l'aéronef un signal d'alarme "à cabrer" (en anglais "Pull up"), si la trajectoire prédite laisse supposer un risque certain vis-à-vis du terrain survolé avoisinant, afin que le pilote puisse initier d'urgence une manoeuvre d'évitement de ce terrain avec une marge minimum de sécurité. La notion de marge minimum de sécurité s'entend à la fois en temps de réaction de l'homme et en distance vis-à-vis du terrain évité. L'expression "terrain survolé avoisinant" tient compte non seulement du terrain directement rencontré dans l'axe de la trajectoire de l'aéronef, mais aussi de ses parties voisines.

À ce signal d'alarme est associé un signal préalable (pré-alarme), qui intervient quelques secondes auparavant, afin de prévenir l'équipage de la proximité de ce risque potentiel.

Cependant, il existe des cas où il est normal que l'aéronef dépasse le point ultime pour effectuer

la manoeuvre d'evitement standard. Or, au-dela de ce point, aucune manoeuvre d'evitement "verticale" n'est plus possible.

L'invention part de la generation de "lignes de trajectoire".

Une ligne de trajectoire est etablie a partir d'une trajectoire estimee ou predite de l'avion, calculee a partir de sa position et de sa dynamique actuelles. La trajectoire estimee peut etre calculee sans changement des commandes de pilotage, ou bien au contraire avec un tel changement, c'est-a-dire avec une manoeuvre, qui modifiera la dynamique de l'aeronef.

Il est important de comprendre qu'une ligne de trajectoire n'est pas necessairement une veritable trajectoire future de l'avion. On pourra la decaler dans l'espace, en position et en direction, comme on le verra plus loin.

Enfin, au moins pour les lignes de trajectoire qui sont effectivement des trajectoires futures de l'avion, on pourra prevoir autour de la ligne un domaine (Figures 3 et 4), prenant en compte differentes marges d'incertitude, notamment celles decrites dans EP-A-0 565 399 et/ou EP-A-0 802 469.

Les calculs requis pour la mise en oeuvre de l'invention, notamment pour calculer les lignes de trajectoire, peuvent etre conduits avec un micro-ordinateur de type POWER PC 603, a l'aide de programmes ecrits, par exemple, en langage C de type C.ANSI, le cas echeant avec l'assistance d'un processeur d'appoint de type DSP.

On decrira d'abord le principe general de l'invention, en reference aux figures 5 et 6 qui illustrent un premier mode de realisation.

Sur la figure 5, on voit une trajectoire limite d'evitement standard TE (en anglais "Standard Horizontal or Vertical Recovery Manoeuvre"), qui, partant de la position presente de l'avion P, se continue par une breve poursuite de la trajectoire actuelle, puis par une remontee, formant un angle vertical choisi par rapport a la trajectoire actuelle, ce que l'on va appeler un "palpeur".

Le "terrain synthetique" issu de la base de donnees est illustre ici par un trait tirete serre.

Sous l'avion, on a egalement represente deux lignes de trajectoire LT1 et LT2, qui sont ici des paralleles a la trajectoire presente de l'avion (et egalement a sa trajectoire passee, puisqu'ici l'avion est suppose voler en ligne droite).

Les figures 5 et 6 permettront de faire apparaitre des notions de couleur qui ne pourront etre donnees dans les illustrations qui suivront, et seront remplacees par des hachures.

Un secteur de visualisation SV apparait sur la figure 6. Il part ici a partir d'une pointe representative de la position presente P de l'avion, la figure 6 etant une projection sur un plan horizontal.

Le terrain est defini en courbes de niveau, mais etablies perpendiculairement aux plans qui verifient les deux conditions suivantes :

- passer a chaque fois par la ligne de trajectoire concernee LT1 ou LT2,
- etre perpendiculaires au plan de la figure 5 (cette perpendicularite ne vaut que pour un vol en ligne droite).

Le terrain peut etre alors visualise comme illustre sur la figure 6, avec en bleu les parties les plus basses, qui se trouvent sous la ligne LT2, en vert les parties de terrain comprises entre les lignes de trajectoire LT1 et LT2, en orange la partie du terrain situee au-dessus de la ligne de trajectoire LT1. De preference, en dehors du secteur de visualisation SV la seule couleur utilisee est le noir.

Ces intersections avec les plans definissent des portions de contour qui forment un "fond de carte" ou un "fond d'image".

En outre, pour l'operation d'alerte proprement dite, on considere l'intersection de la trajectoire d'evitement TE avec le terrain qui, ici, se produit. Les parties de terrain "significatives" se situant au-dessus de cette courbe TE sont illustrees en rouge sur la figure 6.

On comprendra que la correspondance entre la figure 5 et la figure 6 ne vaut que pour le trait tirete horizontal donne sur la figure 6, le reste s'en deduit, d'une maniere que comprendra l'homme du metier. L'ensemble du contour visualise sur la figure 6 represente le resultat d'un cycle de balayage angulaire sur un secteur d'exploration, ici le secteur s'etend sur environ 30(degree), mais il peut etre compris entre environ 1(degree) et environ 360(degree), si necessaire. Par ailleurs, le trait tirete PRO de la figure 6 represente la prolongation "lineaire" vers l'aval de la portion de contour amont. On reviendra plus loin sur cette prolongation, dans la partie se referant notamment aux figures 8.

L'invention peut etre mise en oeuvre de differentes manieres. Ceci est vrai notamment en ce qui concerne les trajectoires surveillees.

Les algorithmes de generation d'alarme sont mis en oeuvre en tenant compte conjointement des risques de collision de l'aeronef avec le relief VR selon les trajectoires predites suivantes (figure 11):

- trajectoire future de l'avion (notee TF),
 - trajectoire d'evitement pour pre-alarme ("palpeur A" note TPA),
 - trajectoire d'evitement pour l'alarme ("warning") selon une manoeuvre "nominale d'evitement" (appelee egalement "trajectoire standard d'evitement"), susceptible d'etre suivie si une alarme due a la surveillance de la trajectoire future precitee est detectee ("palpeur B" note TPB).
- Actuellement, la manoeuvre "nominale d'evitement" est essentiellement dans le plan vertical (apres avoir redresse l'aeronef s'il etait en virage).

Le plus souvent, l'avion vole en ligne droite. Il en resulte que tout relief detecte par le palpeur A est necessairement detecte aussi par le palpeur B, car les deux trajectoires predites correspondantes sont situees dans le meme plan vertical.

Par contre, il en est différemment quand l'avion est en virage. Les axes respectifs de ces deux trajectoires peuvent se trouver respectivement dans deux plans verticaux décalés, faisant entre eux un angle horizontal qui dépend du rayon de virage instantané.

Dans ce cas, et selon un aspect tout à fait significatif de l'invention, la Demanderesse prévoit d'agir comme suit: les alarmes fortes (voyant visuel et message parle de "caution", mais non la visualisation) générées par la détection de conflit entre la trajectoire d'évitement standard et le relief peuvent être inhibées, dès lors qu'aucun conflit n'est détecté sur la trajectoire future de l'avion et/ou sur la trajectoire d'évitement TPA susceptible d'être initiée au cours de cette trajectoire future.

Ceci permet d'assurer les bonnes performances du système, en évitant une alarme intempestive alors que le pilote a déjà initié une manœuvre appropriée pour éviter la collision avec le terrain, manœuvre souvent délicate, au cours de laquelle il est inutile, sinon nuisible, de détourner son attention.

De façon générale, les palpeurs précitées sont des portions ou secteurs de surfaces délimitant un volume de protection devant l'avion, face aux risques de collision avec le terrain. La forme verticale de ces palpeurs est décrite dans les brevets précédents de la Demanderesse, notamment EP-A-0 565 399 et EP-A-0 802 469.

La projection sur un plan horizontal de ce volume est constituée (figure 9) par la partie d'un secteur située en avant de l'avion. À son extrémité proche ou "entrée" (au niveau de la position de l'avion), ce secteur est d'une largeur configurable (par exemple 200 m) ou plus généralement variable, en fonction notamment de l'erreur latérale estimée sur la position de l'avion.

Latéralement, ce secteur est ouvert angulairement en fonction de l'un au moins des critères suivants:

- de part et d'autre de la trajectoire instantanée de l'avion pour le palpeur B ("alarme"),
- de part et d'autre de la trajectoire prédite au temps associé (par exemple 20 secondes) pour le palpeur A ("pre-alarme"),
- à chaque fois d'un angle déterminé (valeur configurable, par exemple 1.5(degré)), qui peut être augmenté, notamment en cas de virage, à une valeur supérieure du côté du virage (au moins) de manière à inclure la trajectoire future de façon certaine,
- de façon limitée à une ouverture maximum, par exemple à 90(degré) ($2 \times 45(\text{degré})$), ou 120(degré), ou 180(degré), voire jusqu'à 360(degré) pour certains aéronefs comme les hélicoptères.

En variante (compatible avec ce qui précède), la projection sur un plan horizontal de ce volume peut être systématiquement constituée (figures 3 et 4) par un domaine centré autour de la trajectoire future prédite. Ce peut être par exemple une bande allant en s'évasant avec le temps, ayant à l'entrée - au niveau de la position actuelle de l'avion - une largeur configurable (par exemple 200 m) ou variable correspondant à l'erreur latérale estimée sur la position de l'avion, comme déjà indiqué.

La distance entrée/sortie ou profondeur du secteur peut être définie en fonction de la vitesse de l'avion, ou d'autres critères, liés ou non à cette vitesse. Elle peut aussi être fixe.

Cette dernière projection est bien adaptée à la trajectoire future de l'avion, tandis que la première est préférablement applicable à la trajectoire standard d'évitement.

Il est important de souligner que la génération d'alarme se fonde, en partie au moins, sur une prédiction de trajectoire future, au lieu d'être systématiquement fondée sur la direction de l'axe instantané de l'avion.

On considère maintenant la visualisation des risques de collision avec le terrain. Cette visualisation est importante, car il faut délivrer au pilote un message clair, quoique complexe.

De façon générale, le système proposé présente sur un écran, en fonction de la position actuelle de l'avion, des informations sur les risques de conflit avec le terrain, afin de fournir au(x) pilote(s) une vue de la situation environnante ("situation awareness"). Ces informations comprennent, simultanément ou non, et en une ou plusieurs images, (Figures 8A à 8D) :

- un fond d'image représentant sous forme de contour d'intersection CI les reliefs significatifs susceptibles de présenter un danger pour l'avion compte-tenu de sa position et de sa trajectoire actuelle (et, implicitement, de critères choisis relatifs à ses possibilités de manoeuvre);
- des informations visuelles CPA (contour de pré-alarme) et CA (contour d'alarme) sur les zones géographiques où potentiellement peuvent être générées des alarmes relatives au terrain ("pré-alarmes" et "alarmes");
- des informations INF relatives, par exemple, à la localisation de villes ou de zones aéroportuaires;
- des informations représentant les zones de conflit avec le terrain, dangereuses pour l'avion ("pré-alarmes" et "alarmes", selon l'alarme générée), et dont le franchissement devient limite voire impossible.

Les figures 7A et 7B concernent le cas d'un aéronef en descente, V étant son vecteur vitesse. TF est sa trajectoire future estimée, sans manoeuvre. TPA est la trajectoire future du palpeur "A" (pré-alarme). TPB est la trajectoire future du palpeur "B" (alarme), qui est en principe la trajectoire standard d'évitement vertical. Les obliques en trait pointillé sont des lignes de trajectoire LT1 à LT4 appartenant à des nappes s'étendant sur le secteur de balayage en avant de l'aéronef. Ici les nappes, et par conséquent les lignes de trajectoire, sont des parallèles équidistantes par rapport à la trajectoire future TF. On notera que ce ne sont pas des trajectoires réelles de l'avion. La figure 7B se distingue par un risque sur le palpeur TPA du fait que celui-ci intersecte le relief.

Transversalement, on procède comme suit :

- a) les moyens de traitement 4, et plus particulièrement son module de balayage 400 (voir figure 2), sont agencés, tout d'abord, pour calculer des vecteurs auxiliaires (ou vecteurs vitesse auxiliaires) par décalage du vecteur vitesse (instantané) de l'aéronef selon une loi de balayage angulaire choisie,
- b) ensuite, ils définissent un secteur (angulaire) à l'aide d'une nappe de lignes de trajectoire partant du vecteur vitesse et des vecteurs auxiliaires.

Les operations a) et b) ci-dessus sont conduites pour chacun des niveaux (ou nappes) de lignes de trajectoire illustres sur les figures 7A et 7B, qui demeurent limitees au plan vertical. Cela sert donc aussi bien pour determiner les portions de contour d'intersection CI formant le fond d'image que pour les portions de contour d'alerte CPA et CA obtenus a partir des trajectoires d'evitement.

En outre, lorsque l'avion est en virage, et/ou en manoeuvre verticale, on tient compte preferentiellement de l'acceleration. Ainsi, chaque secteur est une surface courbe, engendree par une famille de lignes courbes delimitant la nappe. Par exemple, si l'avion descend verticalement, le balayage angulaire (loi de balayage angulaire choisie), des vecteurs vitesse auxiliaires engendre sensiblement un secteur d'une surface conique. De preference cette loi consiste a faire varier l'angle ϕ ; du vecteur vitesse instantane dans le plan horizontal en conservant ces deux autres coordonnees spheriques constantes.

On appelle "secteur de vol", le secteur contenant la trajectoire TF des figures 7A et 7B. La representation du fond de carte correspond en tout point a la situation reelle future de l'avion : quelle que soit la position future hypothetique de l'avion sur l'une des trajectoires futures comprises dans ce secteur de vol, la representation du relief est rapportee directement a cette position future, c'est a dire en termes de hauteur par rapport a l'avion. Cette operation est effectuee par le module de comparaison 401 pour ce qui concerne la determination du contour et par le module 402 pour ce qui concerne le marquage des differentes zones separees par des portions de contours distinctes.

Ainsi, le pilote dispose d'un contour d'intersection CI (ou carte), qui represente le relief dans la direction du vecteur vitesse de l'aeronef, et sur un secteur angulaire choisi. Le nombre de niveaux superposes du relief affiche dependra du nombre de nappes utilisees pour intersecter le relief.

Pour le reste, le fond d'image et les autres informations sont generees a partir de la base de donnees terrain, par exemple de la maniere decrite dans EP-A-0 565 399, EP-A-0 802 469 ou d'autres propositions similaires apparues depuis.

Les risques de conflit avec le terrain (mais non la representation du terrain en lui-meme) peuvent etre presentes sur un ecran particulier separe. On considere actuellement comme preferentiel d'utiliser un ecran de navigation ou d'affichage de la carte meteorologique 55, existant normalement dans l'aeronef.

Les risques de conflit sont transmis a l'ecran par l'intermediaire d'un bus reliant le systeme GCAS a cet ecran. Ce bus sera de preference un bus de type video ou numerique, normalement utilise sur avion, tel que Arinc 646 (Ethernet), Arinc 629 ou Arinc 453.

Les risques de conflit peuvent etre presentes de differentes manieres:

- de facon exclusive des autres visualisations qui apparaissent classiquement sur l'ecran retenu (de preference l'ecran d'affichage de la carte meteorologique). Dans ce cas, un organe de selection de la visualisation peut etre necessaire;
- alternativement, en combinaison avec ces autres visualisations, par exemple representation horizontale de la route suivie simultanement avec les risques de collision avec le terrain et

eventuellement avec en plus les informations INF de trafic (par exemple autres avions environnants) ou de localisation de zones aeroportuaires.

En d'autres termes, l'affichage peut être alterné, par exemple la carte météo étant affichée en alternance avec la carte de risque de collision (contour). On peut prévoir par ailleurs que la carte de collision soit affichée systématiquement, et de façon prioritaire dès qu'une alarme est émise. On peut également envisager d'afficher les cartes météo et de risque de collision en même temps, ainsi qu'éventuellement d'autres informations INF utiles.

Les données correspondantes à visualiser sont converties selon le codage propre au bus retenu.

On examine maintenant la représentation visuelle du fond d'image. Celui-ci est de préférence visualisé selon le cap avion.

Le fond d'image représente la hauteur des reliefs relativement à l'altitude estimée que va avoir l'avion en chacun des points considérés, compte-tenu de sa position et de sa trajectoire actuelle (figures 7A et 7B). Cette estimation peut-être effectuée par exemple selon des radiales à partir de sa position actuelle selon la pente actuelle de sa trajectoire ou selon des courbes représentatives du virage à effectuer pour atteindre chacun de ces points (voir figures 9 et 11).

Une telle présentation permet de montrer les risques potentiels de collision avec le relief du terrain, et ceci, compte-tenu de la trajectoire actuelle TF de l'avion. Ainsi seuls les risques réels sont visualisés et apparaissent pour une pente donnée (que ce soit une descente ou une montée) par l'extrémité de la visualisation opposée à l'aéronef, permettant une réelle anticipation de ces risques. Cette visualisation s'effectue de préférence par "projection" du contour sur un plan horizontal.

Cette hauteur relative est représentée par des symboles de couleur différente et/ou de densité variable et/ou avec des symboles différents (par exemple sous forme de + et/ou (circumflex) et/ou (équivalent to) et/ou de triangle) selon les tranches de cette hauteur relative. Une teinte jaune ou ambre est préférentiellement prise pour les hauteurs relatives qui sont telles que le terrain est au-dessus de l'avion et au-dessus d'une marge de dessous de l'avion. Le terrain situé en dessous d'un certain seuil (supérieur à la marge mentionnée ci-dessus, par exemple 1500 ft) peut ne pas être visualisé.

Le fond d'image est généré préférentiellement de part et d'autre du cap avion avec une ouverture définie par une distance latérale ou par une ouverture angulaire. Vers le devant de l'avion, il s'étend sur une distance (échelle) qui utilise au maximum les possibilités d'affichage de l'écran. Une zone balayée plus restreinte est néanmoins envisageable temporairement ou de façon permanente.

Les zones de génération d'alarme représentent les zones géographiques à partir desquelles une pré-alarme ("caution") et/ou une alarme ("alarme") peuvent être générées dès que l'avion entre dans cette zone, compte-tenu de sa position et de sa trajectoire actuelles. On verra maintenant comment les palpeurs A et B peuvent être définis en même temps.

La limite de ces zones est generee en balayant de part et d'autre devant l'avion avec une ouverture configurable (par exemple (+-) 45(degree), mais on peut prevoir une etendue plus petite ou plus grande) une ligne droite ou courbe representative par exemple d'une radiale ou d'un virage a partir de la position actuelle de l'avion et selon la pente actuelle de sa trajectoire (tiree du vecteur vitesse), et en faisant progresser le long de cette ligne une trajectoire standard d'evitement (ou d'evasive; comme par exemple celle decrite dans un brevet precedent sur le GCAS) jusqu'a un point ou cette trajectoire standard d'evitement rencontre le terrain ou relief, eventuellement avec une marge, fixe ou non. Pour accelerer les calculs, cette marge peut etre appliquee a priori a l'altitude du terrain, ou a la trajectoire, ou encore a l'aeronef. Le point RP illustre sur la figure 10 materialise le debut de la manoeuvre d'evitement.

Deux points PA et PB situes sur cette ligne, avant le point RP calcule ci-dessus, determinent les limites amont des zones pre-alarme (point PA) et alarme (PB), respectivement (Figure 10). Ces points sont definis de preference selon 2 temps d'anticipation (par exemple 5 secondes et 20 secondes); on pourrait aussi les definir en distance, ou d'une autre maniere equivalente, au moins dans certains cas. Ils materialisent le temps dont dispose theoriquement l'aeronef pour parcourir la distance qui separe le point concerne (PA ou PB) du point RP materialisant le debut de la manoeuvre. L'ecart temporel entre les points PA et PB est actuellement choisi egal a environ 15 secondes, mais on pourrait le prevoir plus petit ou plus grand.

En appliquant le balayage angulaire aux lignes de trajectoire d'une nappe, on obtient ainsi une portion amont de contour d'alerte, c'est a dire proche de l'avion. Il reste a le terminer par une portion aval jusqu'aux limites de la visualisation (du secteur visualise).

Ceci pourrait se faire comme pour la representation des reliefs du fond de carte. Il est actuellement juge preferable de proceder autrement: on considere deux lignes adjacentes ; lorsqu'un point RP est determine sur l'une de ces deux lignes, mais non sur l'autre, le reste du contour PRO peut etre prolonge vers l'aval jusqu'aux limites de visualisation par l'une ou l'autre de ces deux lignes adjacentes (voire par les deux), d'une maniere predefinie.

Il convient de donner a ces contours et/ou aux zones qu'ils delimitent une representation distinctive. Ce caractere distinctif peut etre obtenu, a l'aide d'un module de marquage 402, par marquages tels que des traits (comme sur les figures 8A a 8D) ou des symboles de couleurs differentes ou de nuances differentes (par exemple des nuances de gris) et/ou de densite variable et/ou avec des symboles differents pour la zone pre-alarme et la zone alarme. Une teinte jaune ou ambre est consideree comme preferentielle pour differencier la zone pre-alarme et une teinte rouge est consideree comme preferentielle pour differencier la zone alarme.

Les zones de conflit avec le terrain sont presentees (ou affichees) quand l'avion entre dans une zone de generation d'alarme. Dans ce cas l'ensemble des points du relief depassant la trajectoire standard d'evitement associee a la zone penetree (pre-alarme ou alarme, delimitree par un contour d'alerte CPA ou CA) avec une eventuelle marge fixe ou non sont representes preferentiellement en couleur pleine comme illustre sur la figure 7B. Une teinte jaune ou ambre est preferablement prise pour les reliefs penetrant la trajectoire standard d'evitement associee a une pre-alarme et une teinte rouge pour les reliefs penetrant la trajectoire standard d'evitement associee a une alarme.

Le secteur situe derriere ces points de relief peut eventuellement etre en outre colore de la meme facon, ou selon une couleur mariee.

Le systeme considere des points d'une trajectoire future estimee de l'avion, ou d'une replique decalee d'une telle trajectoire future. Il compare l'altitude (dite "altitude avion") a la verticale de ce point, et l'elevation supposee du terrain en ce point, tiree d'une base de donnees. Afin d'assurer un bon fonctionnement quand l'avion est pres du sol, il est important que cette difference soit la plus proche possible de la realite.

De preference, l'altitude avion utilisee (au moins pour les algorithmes de generation d'alarme, mais de preference aussi pour la representation du terrain) est consolidee par une hauteur reelle obtenue par un moyen tel que le radio-altimetre. On opere comme suit :

Au dessus d'un seuil haut H1 (reglable) de la mesure du radio-altimetre (par exemple 1500 ft), l'altitude utilisee par les algorithmes de generation d'alarme, et comparee a l'elevation terrain issue d'une base de donnees, est tiree essentiellement des moyens de navigation de bord de l'avion, par exemple d'un recepteur de radionavigation GPS et/ou d'un systeme inertiel ou baro-inertiel IRS.

En dessous d'un seuil bas H2 (reglable) de la mesure du radio-altimetre (par exemple 500 ft ou 1000 ft), l'altitude utilisee par les algorithmes de generation d'alarme, et comparee a l'elevation terrain issue d'une base de donnees, est tiree de la valeur fournie par le radio-altimetre additionnee a l'elevation extraite de la base de donnees terrain (representant le relief).

Entre ces 2 valeurs seuil H1 et H2, l'altitude utilisee par les algorithmes de generation d'alarme, et comparee a l'elevation terrain issue d'une base de donnees, est obtenue par une combinaison entre l'altitude obtenue a partir des moyens de navigation a bord de l'avion et le radio-altimetre, par exemple une interpolation lineaire entre ces 2 valeurs telle que donnee par la formule suivante : avec et

De par cette consolidation d'altitude, les erreurs verticales sur la position avion et/ou sur les elevations fournies par la base de donnees terrain, ainsi que les erreurs horizontales sur la position avion sont alors compensees, et permettent aux algorithmes de prendre reellement en compte les menaces dues au terrain malgre ces erreurs.

Par ailleurs, il peut arriver que l'avion se trouve en face de reliefs qu'une manoeuvre "nominale d'evitement" ne peut permettre de franchir : l'evitement de tels obstacles necessite non seulement une manoeuvre d'evitement vertical, mais aussi une manoeuvre d'evitement sur un cote de l'avion (ou virage).

La Demanderesse preconise qu'une alarme speciale soit engendree dans une telle situation. L'alarme speciale consiste en une indication specifique qui est fournie au pilote sous forme orale et/ou visuelle (par exemple "Avoid Terrain" en message parle et/ou en texte sur un ecran et/ou par allumage d'un voyant lumineux, par exemple de couleur rouge).

De façon générale, l'alarme spéciale est émise quand du terrain (en portion significative) commence à dépasser le palpeur vers le haut, à l'extrémité distante du palpeur et/ou sur les côtes de celui-ci, ou bien après une période d'inhibition des algorithmes de génération des alarmes.

Dans un exemple particulier, les cas suivants entraînent la génération de cette indication dite alarme spéciale :

- terrain plus haut que le palpeur à son extrémité, ce terrain ne pouvant pas, alors, être évité par une simple manœuvre verticale,
- terrain plus haut que le palpeur entrant sur le côté lors d'un virage et que le temps de remise à plat de l'avion ne permet pas d'éviter ce terrain,
- terrain dépassant le palpeur d'une hauteur plus élevée qu'un seuil vertical configurable (par exemple 500 ft),
- terrain dépassant le palpeur sans toutefois excéder le seuil vertical précédent sur une distance latérale horizontale supérieure à une valeur configurable (par exemple 2000 m).

D'autres éléments concernant une alarme de type "Avoid terrain" seront trouvés dans EP-A-0 802 469.

Le système ainsi défini possède tout ou partie des propriétés suivantes:

- il comprend des moyens pour générer de façon orale et/ou visuelle une indication en cas de situation non franchissable par une manœuvre de cabrage ("pull-up"),
- il comprend des moyens pour détecter les risques non seulement sur la trajectoire future de l'avion mais aussi sur la trajectoire nominale d'évitement,
- il comprend des moyens pour générer des alarmes avec le terrain qui tiennent compte non seulement de la trajectoire future de l'avion mais aussi de la trajectoire nominale d'évitement,
- il comprend un ou des palpeurs s'ouvrant sur les côtes en fonction du taux de virage et/ou du roulis de manière à surveiller la trajectoire future de l'avion,
- il comprend un ou des palpeurs orientés selon la route de l'aéronef prédite et/ou la trajectoire prédite et/ou le cap prédit,
- il comprend un ou des palpeurs constitués par une surface ou domaine entourant la trajectoire prédite,
- il comprend des moyens de visualisation pour présenter un fond terrain constitué par des hauteurs relatives du terrain avec des élévations prédites de l'avion,
- il comprend des moyens de visualisation pour présenter les zones prédites de génération d'alarmes relatives au terrain,
- il comprend des moyens de visualisation pour présenter les zones où un risque de conflit avec le terrain est détecté sur la trajectoire future et/ou d'évitement standard prédite,
- il comprend des moyens de consolidation de l'altitude utilisée par les logiques de détection des risques de collision, en particulier par combinaison avec une valeur de radioaltitude.

Bien entendu, le module de traitement 4 selon l'invention comprend avantageusement un module de synchronisation 403 qui pilote les modules de balayage 400 et de visualisation 55 de façon à assurer le renouvellement périodique de l'affichage à partir de mesures actualisées.

Par ailleurs, tous les seuils et valeurs donnés ci-avant, le sont à titre d'exemple. Leurs choix respectifs reposent sur des préférences actuelles liées aux capacités des aéronefs et des pilotes.

En consequence, ces seuils et valeurs pourront etre choisis differents de ceux indiques, pourvu qu'ils restent dans les intervalles precises dans les revendications ci-apres et dans la partie introductive du present document.

Ainsi :

- les parties sensiblement paralleles des nappes sont de preference espacees verticalement d'une distance comprise entre environ 50 pieds et environ 3000 pieds, en particulier entre 100 pieds et 700 pieds. De meme, les parties sensiblement paralleles des nappes sont espacees l'une de l'autre d'un intervalle temporel compris entre environ 5 secondes et environ 60 secondes, en particulier 15 secondes;
- le balayage angulaire s'etend sur entre environ 1(degree) et environ 360(degree), en particulier entre 60(degree) et 120(degree);
- les moyens de traitement sont agences pour effectuer chaque intersection avec le relief sur une portee correspondant a un temps de parcours de l'aeronef au moins egal a environ 30 secondes, en particulier 120 secondes;
- les moyens de visualisation sont agences pour permettre la visualisation du contour, dans au moins la direction du vecteur vitesse de l'aeronef, sur une etendue comprise entre environ 5 Miles Nautiques et environ 400 Miles Nautiques;
- le critere choisi pour l'emission d'une alarme visuelle et/ou sonore, portant sur la distance verticale separant une representation de l'intersection entre le relief et la trajectoire d'evasive et le sommet du relief place sensiblement au droit de l'intersection entre le relief et la trajectoire d'evasive concerne, est une comparaison entre la distance verticale et un seuil vertical compris entre environ zero (0) pieds et environ 800 pieds (de preference egal a environ 500 pieds), l'alarme etant declenchee lorsque cette distance verticale est superieure au seuil vertical;
- en variante, ce critere choisi pour l'emission d'une alarme visuelle et/ou sonore, portant sur la distance verticale separant une representation de l'intersection entre le relief et la trajectoire d'evasive et le sommet du relief place sensiblement au droit de l'intersection entre le relief et la trajectoire d'evasive concerne, est une premiere comparaison entre la distance verticale et un seuil vertical compris entre environ 100 pieds et environ 800 pieds (de preference egal a environ 500 pieds), couplee a une seconde comparaison entre un seuil horizontal choisi et la distance horizontale sur laquelle la nappe, formee des lignes de trajectoire d'evasive concerne, intersecte le relief, l'alarme etant declenchee lorsque la distance horizontale est superieure au seuil horizontal choisi et que dans le meme temps la distance verticale demeure inferieure au seuil vertical; et
- le critere choisi pour l'emission d'une alarme visuelle et/ou sonore, en cas d'intersection entre, d'une part, le relief et l'une au moins des premiere et seconde trajectoire d'evasive, et d'autre part, le relief et au moins la trajectoire future estimee, est une premiere comparaison entre un seuil vertical compris entre environ zero (0) pieds et environ 800 pieds la distance verticale separant le sommet du relief sensiblement au droit d'un point eloigne d'une distance horizontale choisie de l'intersection entre le relief et la trajectoire d'evasive, couplee a une seconde comparaison entre une duree-seuil et la duree necessaire a la remise a plat de l'aeronef, l'alarme etant declenchee lorsque la distance verticale est superieure au seuil vertical choisi et que dans le meme temps la duree de remise a plat est superieure a la duree-seuil; la duree-seuil etant comprise de preference entre environ 10 secondes et environ 150 secondes, en particulier entre 60 secondes et 120 secondes.

Claims:

1. Dispositif d'aide a la navigation aerienne, comprenant:
 - une entree pour recevoir des indications d'etat representatives de la position et du vecteur vitesse de l'aeronef,
 - une memoire de travail pour stocker une representation tridimensionnelle du relief de la region survolee par l'aeronef,
 - des moyens de traitement aptes a definir, en fonction desdites indications d'etat, un secteur d'exploration rapporte a l'avion, et a calculer dans ce secteur un contour en fonction de l'intersection de ce secteur avec le relief, et
 - des moyens de visualisation de ce contour, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour calculer des vecteurs vitesse auxiliaires par decalage du vecteur vitesse de l'aeronef selon une loi de balayage angulaire choisie, et pour definir ledit secteur par une nappe de lignes de trajectoire partant du vecteur vitesse et des vecteurs vitesse auxiliaires.
2. Dispositif selon la revendication 1, caracterise en ce que les lignes de trajectoire ont toutes la meme geometrie.
3. Dispositif selon la revendication 2, caracterise en ce que les lignes de trajectoire sont des repliques d'une trajectoire estimee de l'aeronef, a commandes de pilotage inchangees, de sorte que le contour d'intersection tienne compte des conditions courantes de vol de l'aeronef.
4. Dispositif selon la revendication 3, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour definir plusieurs nappes de lignes de trajectoire ayant des decalages verticaux differents, de preference espaces au depart de facon sensiblement reguliere.
5. Dispositif selon la revendication 4, caracterise en ce que lesdites nappes sont au moins partiellement sensiblement paralleles entre elles.
6. Dispositif selon la revendication 5, caracterise en ce que les parties sensiblement paralleles desdites nappes sont espacees verticalement d'une distance comprise entre environ 50 pieds et environ 3000 pieds, en particulier entre 100 pieds et 700 pieds.
7. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 6, caracterise en ce que les lignes de trajectoires sont des premieres lignes de trajectoire d'evasive estimees, a commandes de pilotage modifiees selon une premiere loi d'evasive choisie, partant du vecteur vitesse et des vecteurs vitesse auxiliaires.
8. Dispositif selon la revendication 7, caracterise en ce que la premiere loi d'evasive comprend une prolongation d'une representation de la trajectoire courante etablie en fonction d'un critere choisi, suivie d'une manoeuvre ayant une composante verticale.
9. Dispositif selon la revendication 8, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour calculer le contour, dit premier contour d'alerte, en fonction du point de depart de chaque manoeuvre en chaque premiere ligne de trajectoire d'evasive estimee de ladite nappe, lorsque l'une au moins desdites premieres trajectoires d'evasive estimees intersecte le relief.

10. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 9, caracterise en ce que les lignes de trajectoires sont des secondes lignes de trajectoire d'evasive estimees, a commandes de pilotage modifiees selon une seconde loi d'evasive choisie, partant du vecteur vitesse et des vecteurs vitesse auxiliaires.

11. Dispositif selon la revendication 10, caracterise en ce que la seconde loi d'evasive comprend une prolongation d'une representation de la trajectoire courante etablie en fonction d'un critere choisi, suivie d'une manoeuvre ayant une composante verticale.

12. Dispositif selon la revendication 11, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour calculer ledit contour, dit second contour d'alerte, en fonction du point de depart de chaque manoeuvre en chaque seconde ligne de trajectoire d'evasive estimee de ladite nappe, lorsque l'une au moins desdites secondes trajectoires d'evasive estimees intersecte le relief.

13. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 12, caracterise en ce que chaque intersection est limitee a une partie amont, chaque contour etant alors constitue de ladite partie amont et d'une prolongation vers l'aval determinee selon une regle choisie.

14. Dispositif selon l'une des revendications 5 a 9 en combinaison avec l'une des revendications 10 a 13, caracterise en ce que les nappes formees des premieres et secondes lignes de trajectoire d'evasive sont au moins partiellement sensiblement paralleles entre elles.

15. Dispositif selon la revendication 14, caracterise en ce que les parties sensiblement paralleles desdites nappes sont espacees l'une de l'autre d'un intervalle temporel compris entre environ 5 secondes et environ 60 secondes, en particulier 15 secondes.

16. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 15, caracterise en ce que le balayage angulaire s'etend sur un intervalle compris entre environ 1(degree) et environ 360(degree), en particulier entre 60(degree) et 120(degree).

17. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 16, caracterise en ce que les moyens de traitement comprennent des moyens de differenciation propres a attribuer des marquages differents aux zones situees de part et d'autre de chaque contour, lesdits marquages etant choisis en fonction d'un critere predetermine portant sur un risque de collision entre l'aeronef et le relief.

18. Dispositif selon la revendication 17, caracterise en ce que le critere predetermine est une loi portant sur la distance separant chaque point du contour du point representatif du relief situe a la vertical dudit point de contour, lesdits marquages differents correspondant a des intervalles de distance differents, predetermines et representatifs de risques de collision associes.

19. Dispositif selon la revendications 18, caracterise en ce que chaque marquage consiste en une colorisation.

20. Dispositif selon la revendication 19, caracterise en ce que les differentes couleurs sont choisies parmi une famille de normes comprenant au moins les normes JAR 25-1322 et FAR 25-1322, la couleur la plus froide correspondant au risque de collision le plus petit.

21. Dispositif selon la revendication 18, caracterise en ce que les differents marquages sont des nuances de gris ou des trames differentes.

22. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 21, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour effectuer chaque intersection avec le relief sur une portee correspondant a un temps de parcours de l'aeronef au moins egal à environ 30 secondes, en particulier 120 secondes.

23. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 22, caracterise en ce que les moyens de visualisation sont agences pour permettre la visualisation du contour, dans au moins la direction du vecteur vitesse de l'aeronef, sur une etendue comprise entre environ 5 Miles Nautiques et environ 400 Miles Nautiques.

24. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 23, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour commander l'affichage en alternance du contour et d'une carte meteorologique.

25. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 23, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour commander l'affichage simultane du contour et d'une carte meteorologique.

26. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 24, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour commander l'affichage d'informations complementaires, notamment de type localisation d'aerports.

27. Dispositif selon l'une des revendications 7 a 26, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour declencher une pre-alarme sonore ou visuelle choisie en cas d'intersection entre une nappe formee de premieres lignes de trajectoire d'evasive.

28. Dispositif selon l'une des revendications 10 a 27, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour declencher une alarme sonore ou visuelle choisie en cas d'intersection entre une nappe formee de secondes lignes de trajectoire d'evasive.

29. Dispositif selon la revendication 27 en combinaison avec l'une des revendications 24 et 25, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour forcer l'affichage du contour en cas d'emission d'une pre-alarme.

30. Dispositif selon l'une des revendications 24 et 25, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour, en cas d'intersection entre le relief et au moins la nappe formee de secondes lignes de trajectoire d'evasive, determiner si la trajectoire estimee intersecte egalement ledit relief, et autoriser l'emission d'une alarme que lorsque cette intersection est determinee.

31. Dispositif selon l'une des revendications 28 a 31 en combinaison avec l'une des revendications 24 et 25, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour forcer l'affichage du contour en cas d'emission d'une alarme.

32. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 31, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour emettre une autre alarme visuelle et/ou sonore, en cas d'intersection, verifiant un critere choisi, entre, d'une part, le relief et l'une au moins des premiere et seconde trajectoire d'evasive, et d'autre part, le relief et au moins la trajectoire future estimee.

33. Dispositif selon la revendication 32, caracterise en ce que ledit critere choisi porte au moins sur la distance verticale separant une representation de l'intersection entre le relief et la trajectoire d'evasive et le sommet du relief place sensiblement au droit de l'intersection entre ledit relief et la trajectoire d'evasive concerne.

34. Dispositif selon la revendication 33, caracterise en ce que ledit critere choisi est une comparaison entre ladite distance verticale et un seuil vertical compris entre environ zero (0) pieds et environ 800 pieds, ladite alarme etant declenchee lorsque cette distance verticale est superieure audit seuil vertical.

35. Dispositif selon la revendication 33, caracterise en ce que ledit critere choisi est une premiere comparaison entre ladite distance verticale et un seuil vertical compris entre environ 100 pieds et environ 800 pieds, couplee a une seconde comparaison entre un seuil horizontal choisi et la distance horizontale sur laquelle la nappe, formee des lignes de trajectoire d'evasive concerne, intersecte le relief, ladite alarme etant declenchee lorsque ladite distance horizontale est superieure audit seuil horizontal choisi et que dans le meme temps la distance verticale demeure inferieure audit seuil vertical.

36. Dispositif selon l'une des revendications 34 et 35, caracterise en ce que ledit seuil vertical est egal a environ 500 pieds.

37. Dispositif selon la revendication 32, caracterise en ce que ledit critere choisi est une premiere comparaison entre un seuil vertical compris entre environ zero (0) pieds et environ 800 pieds la distance verticale separant le sommet du relief sensiblement au droit d'un point eloigne d'une distance horizontale choisie de l'intersection entre ledit relief et la trajectoire d'evasive, couplee a une seconde comparaison entre une duree-seuil et la duree necessaire a la remise a plat de l'aeronef, ladite alarme etant declenchee lorsque ladite distance verticale est superieure audit seuil vertical choisi et que dans le meme temps la duree de remise a plat est superieure a ladite duree-seuil.

38. Dispositif selon la revendication 37, caracterise en ce que ladite duree-seuil est comprise entre environ 10 secondes et environ 150 secondes, en particulier entre 60 secondes et 120 secondes.

39. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 38, caracterise en ce que les moyens de traitement sont agences pour definir, en fonction desdites indications d'etat et du relief, un domaine englobant chaque ligne de trajectoire constituant une nappe, et determiner l'intersection entre chaque nappe et le relief a partir des intersections des domaines de chacune de ses lignes de trajectoire avec ledit relief.

40. Dispositif selon la revendication 39, caracterise en ce que le point d'intersection d'une ligne de trajectoire contribuant a la formation du contour est obtenu en prenant le point d'intersection, parmi tous les points d'intersection entre le domaine de cette ligne de trajectoire et le relief, qui possede l'altitude la plus elevee.

41. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 40, caracterise en ce qu'il comprend une memoire de masse () pour stocker une base de donnees () representant au moins une partie du globe terrestre, et des moyens de gestion () propres a extraire de la base de donnees les representations tridimensionnelles du relief en fonction des parametres de position de l'aeronef.

42. Dispositif selon l'une des revendications 1 a 41, caracterise en ce que ladite entree est agencee pour recevoir des indications d'etat, et notamment une altitude reelle et une altitude relative referencee par rapport au terrain survole, et en ce que les moyens de traitement sont agences pour determiner les trajectoires estimees et d'evitement a partir d'une altitude choisie parmi lesdites altitudes reelle et relative et une altitude composite en fonction d'une comparaison a deux seuils d'altitude predetermines, ladite altitude choisie etant :

- soit l'altitude reelle lorsque ladite altitude reelle est inferieure aux deux seuils,
- soit l'altitude relative lorsque ladite altitude reelle est superieure aux deux seuils,
- soit l'altitude composite lorsque ladite altitude reelle est comprise entre les deux seuils.

43. Dispositif selon la revendication 42, caracterise en ce que l'altitude composite est formee a partir d'une combinaison ponderee des altitudes relative et reelle.

44. Procede d'aide a la navigation aerienne d'un aeronef, comportant les etapes suivantes :

- a) recevoir dans l'aeronef des indications d'etat representant sa position et son vecteur vitesse,
- b) stocker dans une memoire de travail une representation tridimensionnelle du relief de la region survolee par l'aeronef,
- c) definir, en fonction desdites indications d'etat, un secteur d'exploration rapporte a l'aeronef, et calculer dans ce secteur un contour en fonction de l'intersection de ce secteur avec le relief, et
- d) visualiser ledit contour, caracterise en ce que l'etape c) comporte les sous-etapes suivantes :
 - c1) calculer des vecteurs vitesse auxiliaires par decalage du vecteur vitesse de l'aeronef selon une loi de balayage angulaire choisie, et
 - c2) definir ledit secteur par une nappe de lignes de trajectoire partant du vecteur vitesse et des vecteurs vitesse auxiliaires.